

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## Wavelength duplexer

**Patent number:** DE4407451

**Publication date:** 1995-05-04

**Inventor:** KUKKE ALBRECHT DR (DE); SCHWADERER  
BERNHARD DR (DE); MOESS EBERHARD (DE);  
MUELLER-FIEDLER ROLAND DR (DE); HAUER  
HEINER (DE)

**Applicant:** ANT NACHRICHTENTECH (DE)

**Classification:**


- international: G02B6/42; G02B6/293; H04B10/20

- european: G02B6/34B6, G02B6/42C6

**Application number:** DE19944407451 19940305

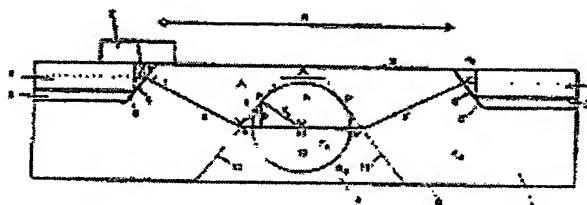
**Priority number(s):** DE19944407451 19940305

**Also published as:**

 EP0670508 (A1)

### Abstract of DE4407451

On the top side (2) of a silicon substrate (1), there are located two mutually aligned, anisotropically etched V-grooves (3, 3') with optical waveguides (optical fibres) (4, 4'). The end faces (5, 5') of the V-grooves (3, 3') are coated in each case with a wavelength-selective filter (6, 6'). Above one of the filters (6), on the top side (3) of the substrate (1), there is located an optical receiver element (7). On the bottom side (8) of the substrate (1), there is located a recess (9) with a lens (10). Transmitted light from the optical waveguide (4') having the wavelength  $\lambda_2$  reaches the optical waveguide (4) via the filter (6'), the lens (10) and the filter (6). Received light from the optical waveguide (4) having the wavelength  $\lambda_1$  is reflected at the filter (6) and reaches the receiver element (7).



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(5)



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 44 07 451 C 1

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 02 B 6/42**  
G 02 B 6/293  
H 04 B 10/20

②1 Aktenzeichen: P 44 07 451.4-51  
②2 Anmeldetag: 5. 3. 94  
④3 Offenlegungstag: —  
④5 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 4. 5. 95

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:

ANT Nachrichtentechnik GmbH, 71522 Backnang, DE

⑦2 Erfinder:

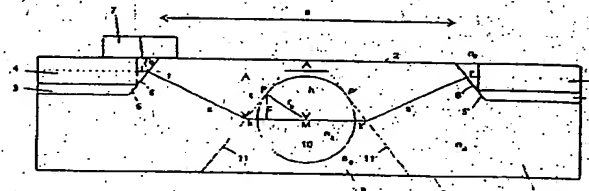
Kuke, Albrecht, Dr., 71549 Auenwald, DE;  
Schwaderer, Bernhard, Dr., 71554 Weissach, DE;  
Möss, Eberhard, 71540 Murrhardt, DE;  
Müller-Fiedler, Roland, Dr., 71229 Leonberg, DE;  
Hauer, Heiner, 70743 Fellbach, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 39 14 835 C1  
DE 38 01 764 A1

⑤4 Wellenlängenduplexer

⑤7 Auf der Oberseite (2) eines Siliziumträgers (1) befinden sich zwei miteinander fluchtende, anisotrop geätzte V-Nuten (3, 3') mit Lichtwellenleitern (4, 4'). Die Stirnflächen (5, 5') der V-Nuten (3, 3') sind jeweils mit einem wellenlängenselektiven Filter (6, 6') beschichtet. Über einem der Filter (6) auf der Oberseite (3) des Trägers (1) befindet sich ein optisches Empfangerelement (7). Auf der Unterseite (8) des Trägers (1) befindet sich eine Vertiefung (9) mit einer Linse (10). Gesendetes Licht aus dem Lichtwellenleiter (4') mit der Wellenlänge  $\lambda_2$  gelangt über den Filter (6'), die Linse (10) und den Filter (6) auf den Lichtwellenleiter (4). Empfangenes Licht aus dem Lichtwellenleiter (4) mit der Wellenlänge  $\lambda_1$  wird am Filter (6) reflektiert und gelangt auf das Empfangerelement (7).



DE 44 07 451 C 1

DE 44 07 451 C 1

Die Erfindung betrifft einen optischen Wellenlängenduplexer in Silizium-Mikromechanik.

Aus der DE 39 14 835 C1 ist ein solcher Wellenlängenduplexer bekannt. Auf einem ersten Träger aus einkristallinem Silizium ist eine anisotrop geätzte V-Nut mit einem Lichtwellenleiterende vorgesehen. Das Licht aus dem Lichtwellenleiter fällt auf eine geneigte wellenlängenselektive Filterschicht. Der reflektierte Lichtanteil der Wellenlänge wiederum fällt auf einen optischen Empfänger, der auf der Oberseite des ersten Siliziumträgers über der Filterschicht befestigt ist. Es ist ein zweiter Siliziumträger vorgesehen, der ebenfalls anisotrop geätzte Vertiefungen aufweist. In diesen Vertiefungen befinden sich eine Spiegelfläche, eine Kugellinse und ein optischer Sender. Die beiden Siliziumträger sind derart aufeinander angeordnet, daß Licht vom Sender über die Kugellinse, die Spiegelfläche, das wellenlängenselektive Filter zum Lichtwellenleiter gelangt. Die Anordnung kann durch Verschieben der Träger aufeinander justiert werden. Sie ist jedoch relativ aufwendig herzustellen.

Aus der DE 38 01 764 A1 ist ein Wellenlängenmultiplexer bekannt, bei dem die Lichtwellenleiter und die optischen Komponenten auf einer Siliziumplatte aus einkristallinem Silizium fixiert sind. Die Lichtwellenleiter und Kugellinsen sind dabei in Vertiefungen eingelegt, die durch anisotropes Ätzen hergestellt sind. Es sind wellenlängenselektive Filter vorgesehen, die ebenfalls in anisotrop geätzte Vertiefungen in den Siliziumkörper eingelegt sind.

Es ist Aufgabe der Erfindung, einen optischen Duplexer anzugeben, der sehr einfach aufgebaut ist.

Die Aufgabe wird durch einen Duplexer mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Auf der Oberseite eines Siliziumträgers befinden sich zwei miteinander fluchtende, anisotrop geätzte V-Nuten mit zwei Lichtwellenleitern. Die Stirnflächen der V-Nuten sind mit je einem wellenlängenselektiven Filter beschichtet. Über einem Filter befindet sich auf dem Träger ein optisches Empfängererelement. Auf der Unterseite des Trägers befindet sich eine Vertiefung mit einer Linse. Licht aus dem ersten Lichtwellenleiter mit der Wellenlänge  $\lambda_2$  gelangt über das erste Filter, die Linse und das zweite Filter auf den zweiten Lichtwellenleiter. Licht aus dem zweiten Lichtwellenleiter mit der Wellenlänge  $\lambda_1$  gelangt auf das Empfängererelement.

Vorteilhaft an der erfindungsgemäßen Lösung ist, daß hier nur eine Kugellinse verwendet werden muß. Ein weiterer Vorteil ist, daß für die Halterung des Strahlteilers keine gesonderte Vertiefung hergestellt werden muß. Der erfindungsgemäß angebrachte Strahlteiler hat auch nur einen Einfallswinkel von 35°. Dies ist vorteilhaft für den Entwurf der Filterschichten in Bezug auf Polarisationsunabhängigkeit, Kantenschärfe und Trennungsverhalten. Ein wichtiger Vorteil ist der geringere Platzbedarf und damit der höhere Nutzen bei der Herstellung. Für die Ätztechnik ist es von Vorteil, daß die mit geringer Tiefe geätzten V-Nuten für die Faserhalterung auf der Oberseite und die mit größerer Tiefe geätzte V-Nut für die Kugellinse auf der Unterseite des Substrates liegen. Dadurch lassen sich beide Ätzprozesse voneinander trennen, was zu einer höheren Genauigkeit bei der Ätzung führt.

Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel für einen

erfindungsgemäßen Duplexer anhand der Zeichnung beschrieben.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch ein Ausführungsbeispiel. In einen Siliziumträger 1, dessen kristallographische (100)-Ebene in der Oberfläche liegt, sind von der Oberseite 2 zwei V-Nuten 3 und 3' anisotrop geätzt, so daß ihre Mittellinien miteinander fluchten und daß ihre Stirnflächen einen Abstand  $a$  voneinander haben. Die V-Nuten haben eine Breite und Tiefe, die so groß sind, daß eine standardgemäße Einmodenfaser mit einem Durchmesser von 125  $\mu\text{m}$  so hineinpaßt, daß ihre oberste Mantellinie gerade in der Substratoberfläche liegt. In die V-Nuten sind Fasern 4, 4' eingelegt. Eine der beiden Fasern 4 dient als Übertragungsfaser für das ankommende Licht mit der Wellenlänge  $\lambda_1$  und das abgehende Licht mit der Wellenlänge  $\lambda_2$ . Die andere Faser 4' ist der Faserausgang eines Sendelasers mit der Wellenlänge  $\lambda_2$ . Die Fasern sind jeweils bis an die Stirnflächen 5 bzw. 5' der V-Nuten herangeschoben. Diese Stirnseiten sind mit wellenlängenselektiven Filtern 6 bzw. 6' beschichtet, die so dimensioniert sind, daß sie die Empfangswellenlänge  $\lambda_1$  reflektieren und die Sendewellenlänge  $\lambda_2$  durchlassen. Das Filter 6' könnte auch eine einfache Antireflexionsschicht für die Wellenlänge  $\lambda_2$  sein, aus fertigungstechnischen Gründen dürfte es aber günstiger sein, hier die gleiche Schicht wie beim Filter 6 aufzubringen. Das aus der Übertragungsfaser 4 austretende Licht wird an der Filterschicht 6 schräg nach oben reflektiert und trifft dort auf eine Photodiode 7, die planar auf der Oberseite 2 des Silizium montiert ist.

Auf der Unterseite 8 des Siliziumträgers 1 wird ebenfalls durch anisotrope Ätzung eine pyramiden- oder pyramidenstumpfförmige Vertiefung 9 mit quadratischer Grundseite geätzt, die dazu dient, eine Kugellinse 10 mit dem Brechungsindex  $n_k$  und dem Radius  $r_k$  aufzunehmen. Das aus der Faser 4' austretende Licht der Wellenlänge  $\lambda_2$  durchdringt die Filterschicht 6' und wird unter dem Winkel  $\gamma$  schräg nach unten in das Silizium hineingebrochen. An der Seitenfläche 11' der Vertiefung 9, die parallel zur Stirnfläche 5' der Vertiefung 3' verläuft wird es wieder um den gleichen Winkel  $\gamma$  zurückgebrochen, so daß es nun wieder parallel zu seiner ursprünglichen Strahlrichtung verläuft. Die Vertiefung 9 und die Kugellinse 10 werden in ihrer Größe so dimensioniert, daß der Mittelstrahl des Strahlbündels gerade durch den Kugelmittelpunkt verläuft. Die Brechzahl  $n_k$  und der Radius  $r_k$  der Kugellinse werden so ausgewählt, daß die optischen Wege zwischen dem Kugelmittelpunkt und den jeweiligen Stirnflächen der Fasern 4 und 4' unter Berücksichtigung der Brechzahlen der jeweils durchlaufenen Medien gleich der doppelten Brennweite der Kugellinse 10 sind.

Die Brennweite  $f$  der Kugellinse ist

$$f = r_k \cdot n_k / (2 \cdot (n_k - n_o)) \quad (1).$$

Die Gegenstandsweite  $g$  und die Bildweite  $b$  sind dann

$$g = b = r_k \cdot n_k / (n_k - n_o) \quad (2).$$

Die Schnittweiten, also der optische Abstand zwischen dem Linsenscheitel und dem Gegenstands- bzw. Bildpunkt sind

$$s_g = s_b = r_k \cdot n_o / (n_k - n_o) \quad (3).$$

$n_k$  ist dabei der Brechungsindex der Kugellinse und  $n_o$

der Brechungsindex im Außenraum. Der Außenraum kann entweder mit Luft oder mit einem transparenten Kleber gefüllt sein. Die Schnittweiten  $s_g$  bzw.  $s_b$  verlaufen jeweils in drei verschiedenen Wegstrecken, der Wegstrecke  $k$  zwischen der Kugelstirnfläche und der Seitenfläche 11 mit dem Brechungsindex  $n_o$ , der Wegstrecke  $s$  zwischen der Seitenfläche 11 und der Nut-Stirnfläche 5 mit dem Brechungsindex  $n_{si}$  für Silizium und der Wegstrecke 1 zwischen der Nut-Stirnfläche 6 und der Faser 4 mit dem Brechungsindex  $n_o$ . Entsprechendes gilt für die gestrichenen Größen auf der Gegenstandsseite. Die geometrischen Längen der Strecken  $l$  und  $k$  liegen durch die Geometrie der anisotropen Ätzung und durch den Kugelradius  $r_k$  und den Faserradius  $r_f$  fest. Es gilt:

$$l_{geom} = r_f / \sqrt{2} \quad (4)$$

$$k_{geom} = r_k \cdot (\sqrt{3} / \sqrt{2} - 1) \quad (5)$$

Die jeweiligen optischen Weglängen  $l_{opt}$  und  $k_{opt}$  erhält man durch Division der geometrischen Weglängen mit den entsprechenden Brechungsindizes. Die im Silizium verlaufende optische Wegstrecke  $s_{opt}$  ist dann

$$s_{opt} = s_b - l_{opt} - k_{opt} \quad (6)$$

Die für die Ausgestaltung wichtige geometrische Wegstrecke im Silizium  $s_{geom}$  erhält man aus

$$s_{geom} = s_{opt} \cdot n_{si} \quad (7)$$

Eine weitere für die Ausgestaltung wichtige Größe ist der Strahlableitungswinkel  $\gamma$ . Er errechnet sich aus dem Einfallswinkel

$$\beta_o = \arctan(1/\sqrt{2}) = 35,3^\circ \quad (8)$$

und dem Snelliusschen Brechungsgesetz

$$\sin \beta_o / \sin \beta_{si} = n_{si} / n_o \quad (9)$$

zu

$$\gamma = \beta_o - \beta_{si} \quad (10)$$

Aus der Weglänge  $s$  (die nichtindizierten Größen bezeichnen die geometrischen Längen) im Silizium und dem Winkel  $\gamma$  berechnet sich die Tiefe  $t$  des Kugelmittelpunktes unter der Fasermite zu

$$t = s \cdot \sin \gamma \quad (11)$$

Der Kugelmittelpunkt  $M$  liegt dann um

$$h = t + r_f \quad (12)$$

unter der Substratoberfläche 2. Der Abstand  $a$  zwischen den Oberkanten der V-Nut-Stirnflächen 5 und 5' ist

$$a = 2 \cdot (r_k + k + s \cdot \cos \gamma - r_f / \sqrt{2}) \quad (13)$$

Für die Funktion der erfindungsgemäßen Lösung wäre es nicht von Nachteil, wenn die Kugellinse zum Teil über die Substratoberfläche 2 hinausragt, solange die Auflagepunkte  $P, P'$  noch innerhalb des Substrates liegen. Die Punkte  $P, P'$  haben vom Kugelmittelpunkt den Abstand

$$p = r_k / \sqrt{3} \quad (14)$$

Dies ergibt eine Randbedingung für die Auswahl der geometrischen und optischen Parameter. Eine weitere Randbedingung verlangt, daß das Substrat mindestens so dick ist, daß der Mittelpunkt der Kugel und der in der Kugel geführte Strahlquerschnitt ganz innerhalb der Substratdicke liegen. Der Radius des in der Kugel geführten Strahlbündels  $r_s$  errechnet sich aus der numerischen Apertur  $NA$  der Faser und der Schnittweite zu

$$r_s = s_g \cdot \tan(\arcsin(NA)) \quad (15)$$

Im folgenden sind zwei Zahlenbeispiele durchgerechnet, die aber weder die Gesamtheit aller möglichen Kombinationen noch die optimalen Verhältnisse darstellen sollen.

Beispiel 1: Kugellinse aus Glas mit einem Brechungsindex von 1,9747 bei einer Sendewellenlänge  $\lambda_2$  von 1,55  $\mu m$ ; Radius der Kugel  $r_k = 450 \mu m$ , kein Kleber im Bereich der Strecken  $l, l'$  und  $k, k'$ , d. h.  $n_o = 1$ , Faserradius  $r_f = 62,5 \mu m$ ,  $NA = 0,1$ ;  $n_{si} = 3,4777$ .

Man erhält folgende Ergebnisse:

25	$s_g$	= 461,7 $\mu m$
	$r_s$	= 46,4 $\mu m$
	$p$	= 259,8 $\mu m$
	$s$	= 1100,3 $\mu m$
	$t$	= 477,2 $\mu m$
30	$h$	= 539,7 $\mu m$
	$\gamma$	= 25,7°
	$a$	= 2996,6 $\mu m$

Beispiel 2: Kugellinse aus Silizium mit einem Brechungsindex von  $n_{si} = 3,4777$  bei  $\lambda_2 = 1,55 \mu m$ , Kugelradius  $r_k = 200 \mu m$ , transparenter Kleber mit  $n_o = 1,5$  im Bereich der Strecken  $k, k'$  und  $l, l'$ , Faser wie im Beispiel 1.

40	$s_g$	= 151,7 $\mu m$
	$r_s$	= 15,2 $\mu m$
	$p$	= 115,5 $\mu m$
	$s$	= 320,6 $\mu m$
45	$t$	= 113,8 $\mu m$
	$h$	= 176,3 $\mu m$
	$\gamma$	= 20,8°
	$a$	= 1000,6 $\mu m$

Alle Grenzflächen zwischen Luft bzw. Kleber und Silizium sollten entspiegelt sein. Eine Entspiegelung der Faserstirnfläche bei Verwendung von Kleber kann eventuell entfallen. Im Bereich der Strecken  $k, k'$  und  $l, l'$  muß der gleiche Brechungsindex vorhanden sein, damit der Strahl parallel versetzt werden kann.

#### Patentansprüche

1. Wellenlängenduplexer mit folgenden Merkmalen:

- a) Es ist ein Siliziumträger (1) aus einkristallinem Silizium vorgesehen;
- b) in der Oberseite (2) des Siliziumträgers (1) befinden sich zwei miteinander fluchtende durch anisotropes Ätzen hergestellte V-Nuten (3, 3') mit geneigten Stirnflächen (5, 5');
- c) in jeder V-Nut (3, 3') ist ein Lichtwellenlei-

- terende (4, 4') befestigt;  
 d) in der Unterseite (8) des Siliziumträgers (1) befindet sich eine anisotrop geätzte pyramidenstumpf- oder pyramidenförmige Vertiefung (9);  
 e) in der Vertiefung (9) ist eine mikrooptische Linse (10) befestigt;  
 f) die Stirnfläche (5) mindestens einer V-Nut (3) ist mit einem wellenlängenselektiven Filter (6) beschichtet;  
 g) über der Stirnfläche (5) mit dem wellenlängenselektiven Filter (6) befindet sich auf der Oberseite (2) des Siliziumträgers (1) ein optisches Empfangselement (7), dessen lichtempfindliche Fläche der Stirnfläche (5) zugewandt ist;  
 h) die Abstände zwischen den Stirnflächen (5, 5') der V-Nuten (3, 3') und zwischen den optischen Achsen von Lichtwellenleitern (4, 4') und Linse (10) sind derart bemessen, daß Licht möglichst verlustfrei vom ersten Lichtwellenleiter (4') zum zweiten Lichtwellenleiter (4) gelangen kann.
2. Wellenlängenduplexer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtwellenleiterenden (4, 4') derart in den V-Nuten (3, 3') befestigt sind, daß die Endflächen der Lichtwellenleiterenden (4, 4') gegen die geneigten Stirnflächen (5, 5') stoßen.
3. Wellenlängenduplexer nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Linse (10) eine Kugellinse ist.
4. Wellenlängenduplexer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das wellenlängenselektive Filter für die Empfangswellenlänge  $\lambda_1$  reflektierend und für die Sendewellenlänge  $\lambda_2$  durchlässig ist.
5. Wellenlängenduplexer nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Lichtwellenleiter (4) mit einem optischen Sendeelement verbunden ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

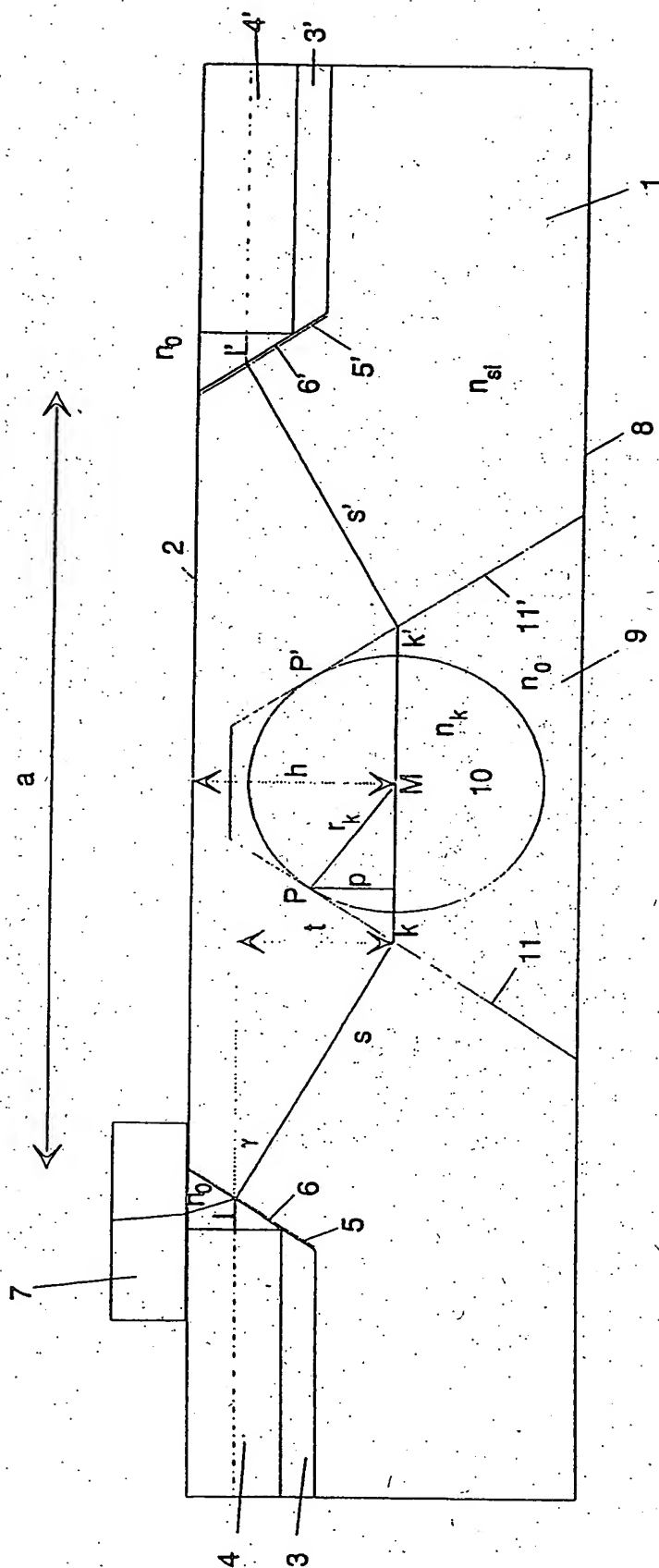


Fig. 1

On the top side (2) of a silicon substrate (1), there are located two mutually aligned, anisotropically etched V-grooves (3, 3') with optical waveguides (optical fibres) (4, 4'). The end faces (5, 5') of the V-grooves (3, 3') are coated in each case with a wavelength-selective filter (6, 6'). Above one of the filters (6), on the top side (3) of the substrate (1), there is located an optical receiver element (7). On the bottom side (8) of the substrate (1), there is located a recess (9) with a lens (10). Transmitted light from the optical waveguide (4') having the wavelength  $\lambda_2$  reaches the optical waveguide (4) via the filter (6'), the lens (10) and the filter (6). Received light from the optical waveguide (4) having the wavelength  $\lambda_1$  is reflected at the filter (6) and reaches the receiver element (7).